

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З КУРСУ  
“ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ”**

(для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання  
спеціальності 6.090603 - “Електротехнічні системи електроспоживання”)

ХАРКІВ - ХНАМГ - 2008

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу “Електропостачання та електрозбереження” (для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання спеціальності 6.090603 – “Електротехнічні системи електроспоживання”). Укл. Гриб О.Г., Калюжний Д.М., Довгалюк О.М., В.Г. Воропай, Г.Г.Сафарян - Харків: ХНАМГ, 2008. – 36 с.

Укладачі: О.Г. Гриб,  
Д.М. Калюжний,  
О.М. Довгалюк,  
В.Г. Воропай.  
Г.Г. Сафарян

Рецензент: проф., д.т.н. В.Г. Ягуп

Рекомендовано кафедрою “Електропостачання міст”,  
протокол № 5 від “ 26” грудня 2007 р.

## ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ.....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 АНАЛІЗ І ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ .....	5
1.1. Короткі теоретичні відомості .....	5
1.2. Опис програмного забезпечення .....	6
1.3. Підготовка до лабораторної роботи.....	8
1.4. Вказівки до виконання роботи .....	8
1.5. Оформлення звіту .....	9
1.6. Контрольні питання.....	10
1.7. Література.....	10
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 СИМЕТРУВАННЯ ТРИФАЗНОЇ ЧОТИРИПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ ЗА НУЛЬОВОЮ ПОСЛІДОВНІСТЮ.....	10
2.1. Короткі теоретичні відомості .....	10
2.2. Опис віртуального лабораторного стенда.....	12
2.3. Підготовка до лабораторної роботи.....	14
2.4. Порядок виконання лабораторної роботи .....	16
2.5. Оформлення звіту .....	17
2.6. Питання.....	17
2.7. Література.....	17
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 СИМЕТРУВАННЯ ТРИФАЗНОЇ ТРИПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ ЗА ЗВОРотноЮ ПОСЛІДОВНІСТЮ.....	18
3.1. Короткі теоретичні відомості .....	18
3.2. Опис віртуального лабораторного стенда.....	19
3.3. Підготовка до лабораторної роботи.....	21
3.4. Порядок виконання лабораторної роботи .....	22
3.5. Оформлення звіту .....	24
3.6. Питання.....	24
3.7. Література.....	24
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 АНАЛІЗ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ТРИФАЗНИХ ТРИПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ.....	25
4.1. Короткі теоретичні відомості .....	25
4.2. Опис віртуального лабораторного стенда.....	26
4.3. Підготовка до лабораторної роботи.....	28
4.4. Порядок виконання лабораторної роботи .....	29
4.5. Оформлення звіту .....	29
4.6. Питання.....	30
4.7. Література.....	30
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 АНАЛІЗ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ТРИФАЗНИХ ЧОТИРИПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ .....	30
5.1. Короткі теоретичні відомості .....	30
5.2. Опис віртуального лабораторного стенда.....	32
5.3. Підготовка до лабораторної роботи.....	33
5.4. Порядок виконання лабораторної роботи .....	34
5.5. Оформлення звіту .....	34
5.6. Питання.....	34
5.7. Література.....	35

## ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

У курсі “Електропостачання та електрозбереження” студенти вивчають системи електропостачання міст і промислових підприємств, принципи їх побудови і проектування, а також енергозберігаючі підходи.

Мета викладання дисципліни – опанування знаннями з основ електропостачання міст та промислових підприємств, а також енергозберігаючих підходів у системах електропостачання.

Предмет дисципліни – системи електропостачання міст і промислових підприємств, основи їх проектування та функціонування

Завдання вивчення дисципліни: формування у студентів на стадії підготовки бакалаврів електроенергетичного профілю системи базових знань про методологічні основи аналізу й проектування систем електропостачання промислових підприємств і міст, закріплення теоретичних знань і вироблення навичок їхнього застосування при виконанні розрахунків з цієї дисципліни, а також у практичній інженерній діяльності.

Для студентів передбачені наступні форми вивчення матеріалу з курсу: лекції, практичні заняття, лабораторні роботи, виконання розрахунково-графічної роботи, а також самостійна робота над літературою.

Ці вказівки призначені для надання студентам методичної допомоги при підготовці й виконанні лабораторних робіт.

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

## АНАЛІЗ І ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

**Мета роботи:** вивчити основні показники, що характеризують графіки навантажень, способи їхнього розрахунку і способи побудови ступінчастих графіків.

### 1.1. Короткі теоретичні відомості

Графік навантаження являє собою залежність споживаної потужності в часі  $P = f(t)$ . Згідно із засобами і способами виміру розрізняють неперервні й ступінчасті графіки навантажень. Неперервні графіки одержують за допомогою цифрових вимірювальних комплексів, частота виміру електричних величин яких складає мікросекунди. Ступінчасті графіки навантажень здобувають шляхом усереднення споживаної потужності протягом усього часу виміру. Для цього використовують лічильники електричної енергії.

У більшості розв'язуваних задач знати всі особливості виду графіка навантаження необов'язково. Основні особливості виду графіка характеризуються такими показниками :

1. Максимальне навантаження  $P_{\text{макс}}$  - найбільше значення споживаної потужності за деякий проміжок часу, звичайно за 30 хвилин.

2. Середнє навантаження  $P_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot \Delta t_i}{T}$ , де  $P_i$  - споживана потужність на інтервалі  $\Delta t_i$ ,  $T = \sum_{i=1}^n \Delta t_i$  - тривалість графіка навантаження.

3. Середньоквадратичне навантаження  $P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n P_i^2 \cdot \Delta t_i}$ .

4. Коефіцієнт форми  $K_{\text{ф,а}} = P_{\text{ск}} / P_c$ .

5. Коефіцієнт завантаження графіка  $K_{\text{з,з,а}} = P_c / P_{\text{макс}}$ .

6. Час використання найбільшого навантаження  $T_{\text{макс}} = P_c \cdot T / P_{\text{макс}}$ .

7. Час найбільших втрат  $\tau = P_{\text{ск}}^2 \cdot T / P_{\text{макс}}^2$ .

## 1.2. Опис програмного забезпечення

При завантаженні програмного забезпечення виконання лабораторної роботи 1 «Аналіз і побудова графіків електричних навантажень» з'являється вікно програми, в якому відображаються система координат і таблиця (рис. 1.1). Система координат призначена для відображення графіка електричних навантажень, таблиця - для відображення графіка в табличній формі.

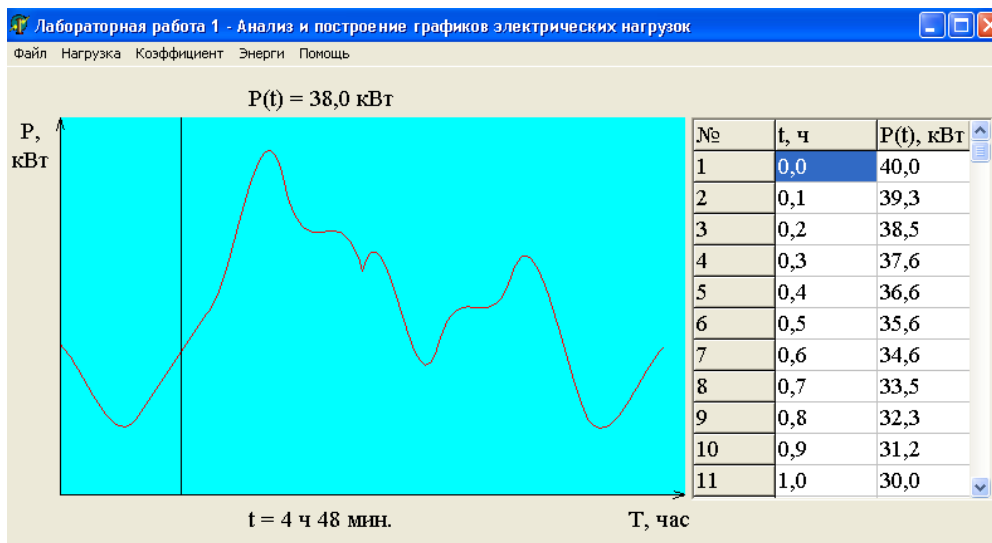


Рис.1.1 - Зовнішній вигляд лабораторної роботи

Програмне забезпечення виконання лабораторної роботи має головне меню, що містить у собі наступні опції:

- "Файл";
- "Навантаження";
- "Коефіцієнт";
- "Енергія";
- "Допомога".

Опція "Файл" головного меню має три підопції:

- "Відкрити". Ця підопція призначена для завантаження текстового файла з вихідними даними. Місцезнаходження і ім'я файла вказуються викладачем. З

появою повідомлень "Уточніть вихідні дані" чи "Помилка вихідних даних" слід звернутися до викладача.

- "Експорт даних". Ця підопція призначена для збереження інформації про графік навантаження в табличній формі в текстовому файлі.
- "Вихід". Ця підопція призначена для виходу з програми.

Опція "Навантаження" головного меню містить три підопції:

- "Середнє". При виборі даної підопції відображається інформація про середнє навантаження.
- "Середньоквадратичне". При виборі даної підопції відображається інформація про середньоквадратичне навантаження.
- "Максимальне". При виборі даної підопції відображається інформація про тридцятихвилинний максимум навантаження.

Опція "Коефіцієнт" головного меню містить чотири підопції

- "Форми". При виборі цієї підопції відображається інформація про коефіцієнт форми.
- "Завантаження графіка". При виборі цієї підопції відображається інформація про коефіцієнт завантаження графіка.
- "Час використання найбільшого навантаження". При виборі даної підопції відображається інформація про час використання найбільшого навантаження.
- "Час найбільших втрат". При виборі цієї підопції відображається інформація про час найбільших втрат.

Опція "Енергія" головного меню призначена для відображення інформації про електроспоживання.

Опція "Допомога" головного меню містить дві підопції:

- "Посібник користувача". При виборі цієї підопції відображається інформація про програмне забезпечення.
- "Методичні вказівки". При виборі даної підопції відображаються короткі методичні вказівки до виконання лабораторної роботи.

Після завантаження вихідних даних, для роботи з графіком навантаження передбачений курсор, що визначає час і відповідне споживання потужності. Місце розташування курсора визначається трьома подіями:

- натисканням лівої клавіші мишки;
- натисканням клавіш "<" (переміщення вліво) і ">" (переміщення вправо);
- вибором рядка в таблиці.

### 1.3. Підготовка до лабораторної роботи

Підготовка до лабораторної роботи передбачає: ознайомлення з теоретичним матеріалом за темою лабораторної роботи; вивчення опису програмного забезпечення; домашню заготовку таблиць для занесення результатів дослідження і розрахунків (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Показники графіків електричних навантажень

Найменування	Показники графіків електричних навантажень						
	$P_{\text{макс}}$ , кВт	$P_c$ , кВт	$P_{\text{ск}}$ , кВт	$K_{\phi,a}$	$K_{z,z,a}$	$T_{\text{макс}}$ , час	$\tau$ , час
Неперервний графік							
Ступінчатий графік							
Похибка							

### 1.4. Вказівки до виконання роботи

1. Одержати вихідні дані на виконання лабораторної роботи у викладача. Вихідні дані являють собою текстовий файл "Графік\_навантаження\_№X.txt". Після цього запустити програмне забезпечення по лабораторній роботі і завантажити файл вихідних даних.

2. Провести аналіз графіка навантаження і визначити наступні показники. Результати занести в табл. 1.1.



3. Визначити графік електричного навантаження в табличній формі. Для одержання цієї інформації треба скористатися підопцією "Експорт даних" опції "Файл" меню програмного забезпечення. При цьому розмірність таблиці складає 2 стовпці на 241 рядок.

4. Побудувати ступінчастий графік навантаження з часом усереднення ступенів  $t_{\text{уср}} = 1$  час. Середнє навантаження кожного ступеня визначити в такий спосіб:

$$P_{\text{cmj}} = \frac{1}{t_{\text{уср}}} \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Delta t.$$

5. Для ступінчастого графіка навантаження визначити наступні показники: максимальне навантаження  $P_{\text{макс}}$ ; середнє навантаження  $P_c$ ; середньоквадратичне навантаження  $P_{\text{ск}}$ ; коефіцієнт форми  $K_{\text{ф,а}}$ ; коефіцієнт завантаження графіка  $K_{\text{з,е,а}}$ ; час використання найбільшого навантаження  $T_{\text{макс}}$ ; час найбільших утрат  $\tau$ . Результати занести в табл. 1.1.

6. Розрахувати похибку визначення максимального навантаження  $P_{\text{макс}}$ , середнього навантаження  $P_c$ , середньоквадратичного навантаження  $P_{\text{ск}}$ , коефіцієнта форми  $K_{\text{ф,а}}$ , коефіцієнта завантаження графіка  $K_{\text{з,е,а}}$ , часу використання найбільшого навантаження  $T_{\text{макс}}$ , часу найбільших втрат  $\tau$  для ступінчастого графіка відносно неперервного в такий спосіб:

$$\delta = \frac{K - K'}{100\%},$$

де  $K$  – показник неперервного графіка електричних навантажень;  $K'$  – ступінчастого.

Результати розрахунку занести в табл. 1.1.

### 1.5. Оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити наступне:

1. Мета роботи;

2. Результати вимірів і розрахунків;
3. Миттєвий і ступінчатий графіки навантаження;
4. Висновки по роботі.

### **1.6. Контрольні питання**

1. Яке співвідношення між максимальним, середнім і середньоквадратичним навантаженнями?
2. Яким чином одержують ступінчатий графік електричного навантаження?
3. Які коефіцієнти характеризують графік електричних навантажень?
4. Що являє собою максимальне навантаження?
5. Як визначається коефіцієнт форми графіка навантаження?
6. Що таке середнє навантаження?

### **1.7. Література**

1. Федоров А.А., Ристхейн Э.М. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1981.
2. Электроснабжение цеха промышленного предприятия / Под ред. А.П. Титова. – М: Изд-во МЭИ, 1990.
3. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1979.
4. Козлов В.А. Электроснабжение городов. – Л.: Энергоатомиздат, 1988.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2**

### **СИМЕТРУВАННЯ ТРИФАЗНОЇ ЧОТИРИПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ ЗА НУЛЬОВОЮ ПОСЛІДОВНІСТЮ**

**Мета роботи:** дослідження процесу симетрування трифазної чотирипровідної мережі за нульовою послідовністю.

#### **2.1. Короткі теоретичні відомості**

У трифазних чотирипровідних мережах може мати місце несиметрія напруг за нульовою послідовністю. При її рівні вище нормованих значень необхідно вживати відповідні заходи щодо її усунення. Одним з таких заходів є симетрування мережі за допомогою симетруючих пристроїв (СП). Найбільше по-

ширення одержали СП з реактивними елементами, які засновані на компенсації струмів нульової послідовності (компенсаційний спосіб).

На рис. 2.1 показана трифазна чотирипровідна мережа з несиметричним навантаженням і СП нульової послідовності. Відповідний вибір провідностей СП дозволяє створити в ньому такий струм нульової послідовності, що буде протилежний струму нульової послідовності навантаження.

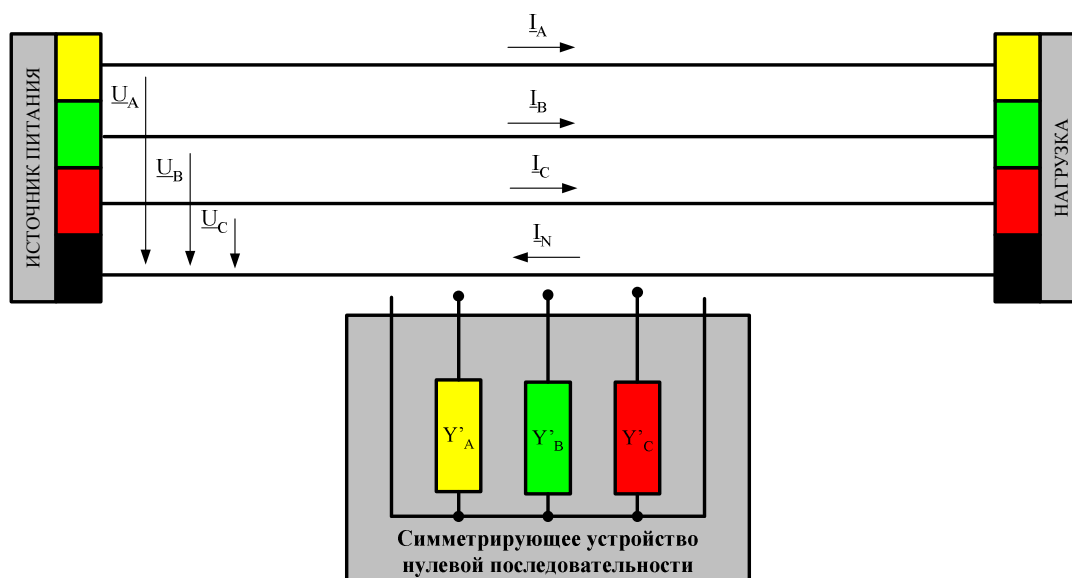


Рис. 2.1 - Трифазна чотирипровідна мережа із СП нульової послідовності

Параметри СП нульової послідовності, що дозволяють компенсувати струм нульової послідовності й відповідно напругу нульової послідовності, визначають в такий спосіб:

$$\begin{aligned} Y'_A &= \frac{2j}{U_1} \cdot \text{Im}(I_0) + Y_0; \\ Y'_B &= -\frac{2j}{U_1} \text{Im}(a \cdot I_0) + Y_0; \\ Y'_C &= -\frac{2j}{U_1} \text{Im}(a^2 \cdot I_0) + Y_0. \end{aligned} \quad (2.1)$$

де  $U_1$  - модуль вектора прямої послідовності напруги на навантаженні;  $I_0$  - струм нульової послідовності в мережі;  $a = e^{j120}$  - оператор повороту;  $Y_0$  - провідність, що не залежить від струму нульової послідовності, тому її величина може бути задана довільно, наприклад,  $Y_0 = 0$ .

Вираз (2.1) отримано в припущенні, що напруги симетричні. Це припущення і наявність споживачів, включених на лінійну напругу, приводить до залишкової несиметрії напруг. Для її усунення процес симетрування можна проводити ітераційно. При цьому похибка симетрування буде визначатися в такий спосіб:

$$\delta_C = \frac{I_0^{(N)}}{I_0}, \quad (2.2)$$

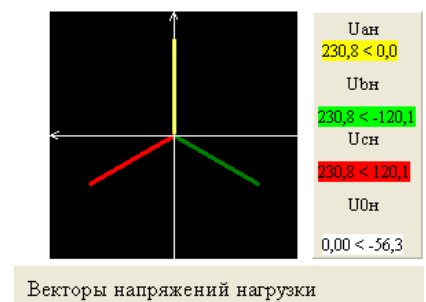
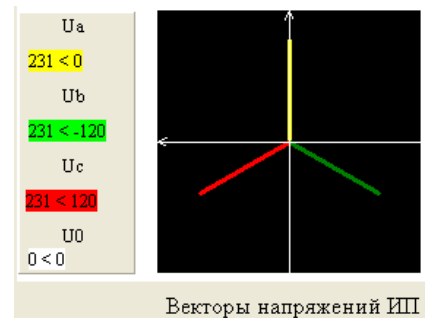
де  $I_0$  - струм нульової послідовності до підключення СП.  $I_0^{(N)}$  - струм нульової послідовності після  $N$ -го циклу симетрування.

## 2.2. Опис віртуального лабораторного стенда

Лабораторну роботу виконують на віртуальному лабораторному стенді, що реалізований у вигляді комп'ютерної програми. Зовнішній вигляд стенда поданий на рис 2.2.

За допомогою стенда моделюють режим роботи трифазної чотирипровідної мережі. Провідності фазних проводів і нульового проводу прийняті рівними  $\underline{Y}_A = \underline{Y}_B = \underline{Y}_C = \underline{Y}_N = 10 \cdot e^{j0}$  См. Напруги джерела живлення прийняті симетруючими з модулями 231 В. Чисельно і графічно напруги джерела живлення відображаються на стенді.

Навантаження задають за допомогою кнопки «Задати». На початку, навантаження задають симетричною активною провідністю фаз з величиною 0,01 См. Після натискання кнопки «Задати» навантаження визначають випадковим чином. Чисельно воно відображується на стенді. Фазні напруги навантаження, що відповідають заданому навантаженню, чисельно й графічно також відображаються на стенді.



Проводимости нагрузки	
Фаза А	0,010 + j 0,000 См
Фаза В	0,010 + j 0,000 См
Фаза С	0,010 + j 0,000 См

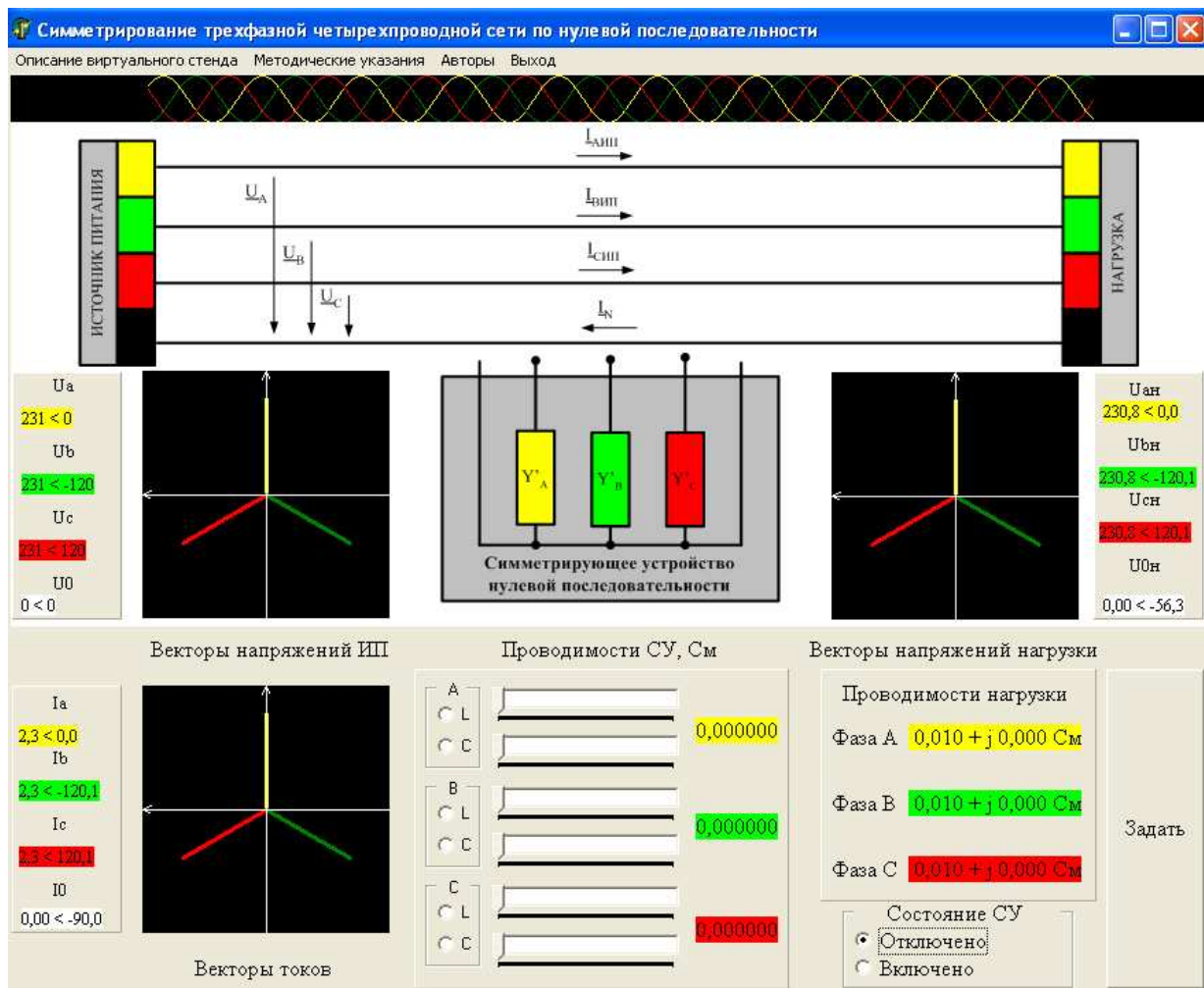
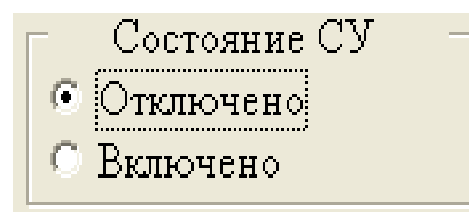
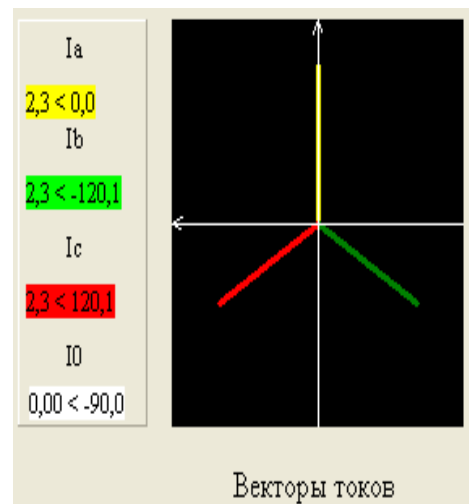


Рис. 2.2 - Зовнішній вигляд віртуального стенда лабораторної роботи

Струми, що протікають по мережі від джерела живлення до навантаження, також відображаються чисельно й графічно на стенді. Розмірність величини струмів - Ампер. Величина  $I_0$  – відповідає току нульової послідовності.

Стан СП нульової послідовності регулюється за допомогою залежних перемикачів: «Відключено» й «Включено». Положення «Відключено» відповідає стану, коли СП не підключено до мережі. «Включено» - СП підключено до мережі. На початку, стан СП –



«Відключено». Параметри СП, зокрема його провідності, визначають за допомогою відповідних залежних перемикачів і регуляторів, що відображені на стенді під СП. За допомогою залежних перемикачів визначають характер провідності СП по кожній фазі (L – індуктивний, C – ємнісний характер). За допомогою регуляторів визначають величину провідності СП кожної фази. При цьому для кожної фази передбачено два регулятори. Один з них змінює провідність на рівні розмірності  $10^{-3}$  См, другий - на рівні  $10^{-6}$  См з кроком відповідно 0,001 См і 0,000001 См.

Провідність СУ, См

A	<input type="radio"/> L	<input type="text"/>	0,000000
	<input type="radio"/> C	<input type="text"/>	
B	<input type="radio"/> L	<input type="text"/>	0,000000
	<input type="radio"/> C	<input type="text"/>	
C	<input type="radio"/> L	<input type="text"/>	0,000000
	<input type="radio"/> C	<input type="text"/>	

На початку, характер провідності СП не заданий. Їхні значення дорівнюють нулю. Для того щоб приступити до зміни провідностей СП, необхідно й достатньо вибрати їхній характер.

### 2.3. Підготовка до лабораторної роботи

Підготовка до лабораторної роботи передбачає: ознайомлення з теоретичним матеріалом за темою роботи; вивченням опису віртуального лабораторного стенда; домашню заготовку таблиць для занесення параметрів режиму роботи мережі (табл. 2.1, 2.3) і розрахункових даних (табл. 2.2).

У табл. 2.1:  $|\underline{U}_{0n}|$  - модуль напруги нульової послідовності навантаження;  $|\underline{I}_0|$  - модуль струму нульової послідовності в мережі;  $\underline{U}_{An}$ ,  $\underline{U}_{Bn}$  і  $\underline{U}_{Cn}$  - фазні напруги навантаження;  $\underline{I}_A$ ,  $\underline{I}_B$  і  $\underline{I}_C$  - фазні струми, що протікають у мережі.

У табл. 2.2:  $|\underline{U}_{1n}|$  - модуль вектора напруги навантаження прямої послідовності;  $|\underline{I}_1|$  - модуль вектора струму прямої послідовності;  $K_{U0}$  - коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю;  $K_{I0}$  - коефіцієнт несиметрії струмів за нульовою послідовністю;  $Y'_A$ ,  $Y'_B$  і  $Y'_C$  - розрахункові значення фазних реактивних провідностей СП;  $\delta_C$  - похибка симетрування після першого циклу. Величини із символом (1) відповідають режиму роботи мережі після першого циклу симетрування. У табл. 2.3 зазначені величини аналогічні табл. 2.1, але після першого циклу симетрування.

Таблиця 2.1 - Параметри режиму роботи мережі до підключення СП нульової послідовності

№ досліду	$ \underline{U}_{0H} , \text{В}$	$ \underline{I}_0 , \text{А}$	$\underline{U}_{AH}, \text{В}$	$\underline{U}_{BH}, \text{В}$	$\underline{U}_{CH}, \text{В}$	$\underline{I}_A, \text{А}$	$\underline{I}_B, \text{А}$	$\underline{I}_C, \text{А}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблиця 2.2 - Розрахункові дані

№ досліду	$ \underline{U}_{1H} , \text{В}$	$ \underline{I}_1 , \text{А}$	$K_{U0}, \%$	$K_{I0}, \%$	$Y'_A, \text{См}$	$Y'_B, \text{См}$	$Y'_C, \text{См}$	$ \delta_C , \text{о.е.}$	$ \underline{U}_{1H}^{(1)} , \text{В}$	$ \underline{I}_1^{(1)} , \text{А}$	$K_{U0}^{(1)}, \%$	$K_{I0}^{(1)}, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Таблиця 2.3 - Параметри режиму роботи мережі після підключення СП нульової послідовності

№ досліду	$ \underline{U}_{0H}^{(1)} , \text{В}$	$ \underline{I}_0^{(1)} , \text{А}$	$\underline{U}_{AH}^{(1)}, \text{В}$	$\underline{U}_{BH}^{(1)}, \text{В}$	$\underline{U}_{CH}^{(1)}, \text{В}$	$\underline{I}_A^{(1)}, \text{А}$	$\underline{I}_B^{(1)}, \text{А}$	$\underline{I}_C^{(1)}, \text{А}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

## 2.4. Порядок виконання лабораторної роботи

Допуском до виконання лабораторної роботи є домашня підготовка до її виконання.

У ході роботи необхідно виконати п'ять дослідів із симетрування трифазної чотирипровідної мережі. Усі п'ять дослідів повинні задовольняти наступній умові:

$$|\underline{U}_{0H}| > 0,02 \cdot U_{ном}. \quad (2.3)$$

Тобто слід робити вибір таких режимів, де несиметрія напруг за нульовою послідовністю буде перевищувати нормально-допустимі значення.

У рамках кожного дослідів необхідно:

1. Зробити вимір параметрів режиму роботи мережі при відключеному СП и занести їх у табл. 2.1.
2. Зробити розрахунок (табл. 2.2):
  - напруги прямої послідовності навантаження:

$$\underline{U}_{1H} = \frac{1}{3} \cdot (\underline{U}_{AH} + a \cdot \underline{U}_{BH} + a^2 \cdot \underline{U}_{CH}), \quad (2.4)$$

де  $a = e^{j \cdot 120^\circ}$  – оператор повороту;

- струму прямої послідовності:

$$\underline{I}_1 = \frac{1}{3} \cdot (\underline{I}_A + a \cdot \underline{I}_B + a^2 \cdot \underline{I}_C); \quad (2.5)$$

– коефіцієнта несиметрії напруг за нульовою послідовністю:

$$K_{U0} = \frac{U_{0H}}{U_{1H}} \cdot 100\%; \quad (2.6)$$

– коефіцієнта несиметрії струмів за нульовою послідовністю:

$$K_{I0} = \frac{I_{0H}}{I_1} \cdot 100\%; \quad (2.7)$$

– фазних реактивних провідностей СП (2.1);



- модуля похибки симетрування  $\delta_c$  після першого циклу(2.2);
- напруги прямої послідовності навантаження, струму прямої послідовності, коефіцієнта несиметрії напруг за нульовою послідовністю, коефіцієнта несиметрії струмів за нульовою послідовністю після першого циклу симетрування.
- зробити вимір параметрів режиму роботи мережі при підключеному СП і занести їх у табл. 2.3.

## **2.5. Оформлення звіту**

Звіт по лабораторній роботі повинен містити наступне:

- 1.) мету роботи, схему трифазної чотирипровідної мережі з СП;
- 2.) результати вимірів і розрахунків;
- 3.) векторну діаграму напруг навантаження і струмів мережі до і після використання СП нульової послідовності (як мінімум для одного досліду);
- 4.) висновки по роботі.

## **2.6. Питання**

1. У чому полягає принцип симетрування трифазної чотирипровідної мережі за нульовою послідовністю за допомогою симетруючих пристроїв?
2. Як визначають параметри симетруючого пристрою?
3. Чим викликана похибка симетрування за нульовою послідовністю?
4. Що таке коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю? Як його визначають?
5. Які нормально й гранично-допустимі значення коефіцієнта несиметрії за нульовою послідовністю?

## **2.7. Література**

1. Качество электрической энергии в системах электроснабжения: Уч. Пособие / Под ред. О.Г. Гриба. – Харьков: ХНАГХ, 2006. – 281 с.
2. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Качество электрической энергии на промышленных предприятиях. 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.

3. ГОСТ 13.109 – 97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Минск.: Изд-во стандартов. - 1998. – 30 с.

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

#### СИМЕТРУВАННЯ ТРИФАЗНОЇ ТРИПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ ПО ЗВОРотної ПОСЛІДОВНОСТІ

**Мета роботи:** дослідження процесу симетрування трифазної трипровідної мережі за зворотною послідовністю.

#### 3.1. Короткі теоретичні відомості

У трифазних трипровідних мережах може мати місце несиметрія напруг за зворотною послідовністю. При її рівні вище нормованих значень необхідно вживати заходи щодо її усунення. Одним з таких заходів є симетрування мережі за допомогою симетруючих пристроїв (СП). Найбільше поширення одержали СП з реактивними елементами, засновані на компенсації струмів зворотної послідовності (компенсаційний спосіб).

На рис. 3.1 показана трифазна трипровідна мережа з несиметричним навантаженням і СП зворотної послідовності. Відповідний вибір провідностей СП дозволяє створити в ньому такий струм зворотної послідовності, що буде протилежний струму зворотної послідовності навантаження.

Параметри СП зворотної послідовності, що дозволяють компенсувати струм зворотної послідовності і відповідно напругу зворотної послідовності, визначають в такий спосіб:

$$\left. \begin{aligned} Y_{AB}'' &= \frac{2j}{3 \cdot U_1} \cdot \operatorname{Im}(a \cdot \underline{I}_2) + Y_0''; \\ Y_{BC}'' &= \frac{2j}{3 \cdot U_1} \cdot \operatorname{Im}(\underline{I}_2) + Y_0''; \\ Y_{CA}'' &= \frac{2j}{3 \cdot U_1} \cdot \operatorname{Im}(a^2 \cdot \underline{I}_2) + Y_0'', \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

де  $U_1$  - модуль вектора прямої послідовності напруги навантаження,  $I_2$  - струм зворотної послідовності в мережі,  $a = e^{j120}$  - оператор повороту;  $Y_0''$  - провідність, що не залежить від струму зворотної послідовності, тому її величина може бути задана довільно, наприклад,  $Y_0'' = 0$ .

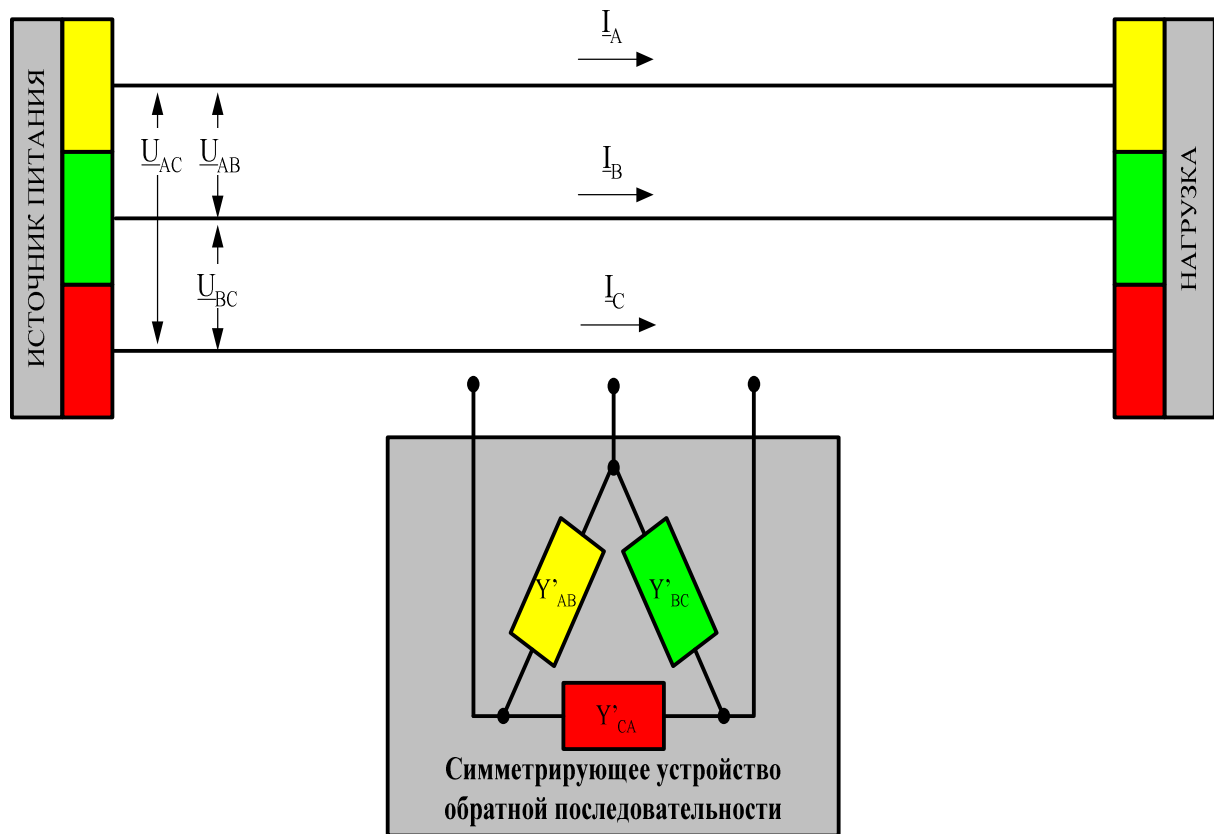
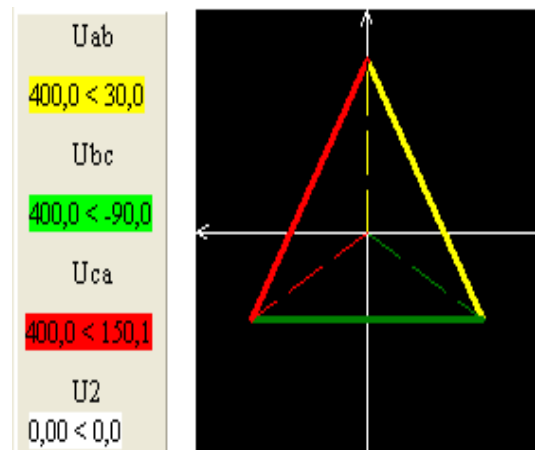


Рис. 3.1 - Трифазна трипровідна мережа із СП нульової послідовності

### 3.2. Опис віртуального лабораторного стенда

Виконання лабораторної роботи проводять на віртуальному лабораторному стенді, що реалізований у вигляді комп'ютерної програми. Зовнішній вигляд стенда поданий на рис. 3.2.

За допомогою стенда моделюють ре-



жим роботи трифазної трипровідної мережі. Провідності фазних проводів прийняті рівними  $\underline{Y}_A = \underline{Y}_B = \underline{Y}_C = 20 \cdot e^{j0}$  См. Лінійні напруги джерела живлення прийняті симетричними з модулями 400 В. Чисельно і графічно напруги джерела живлення відображаються на стенді.

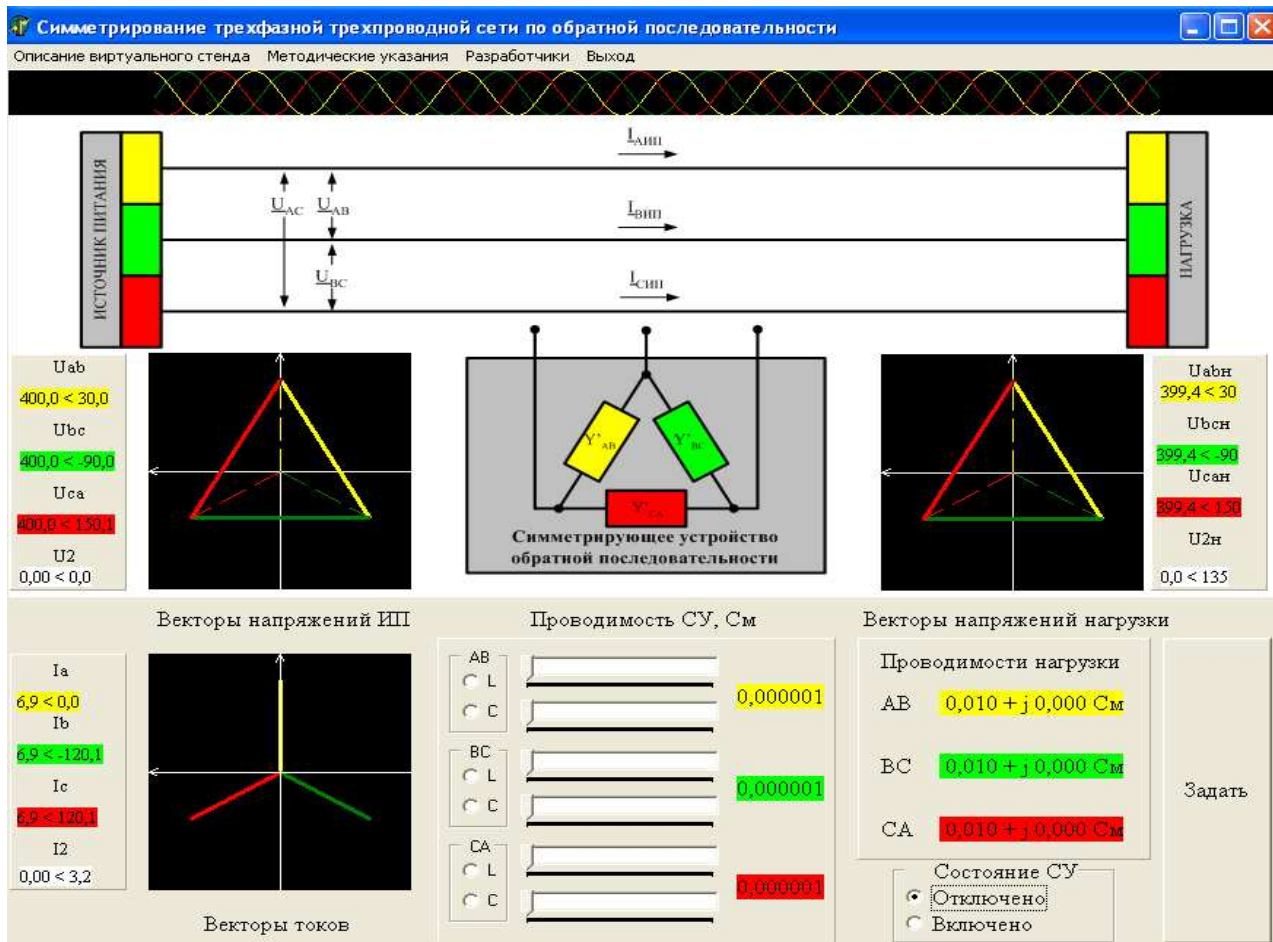
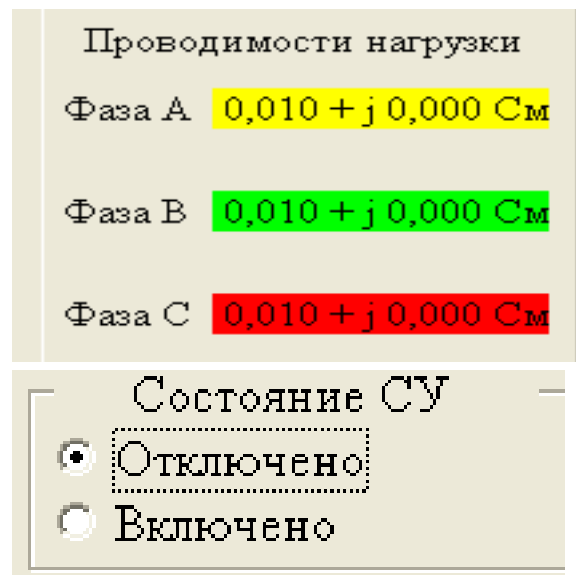
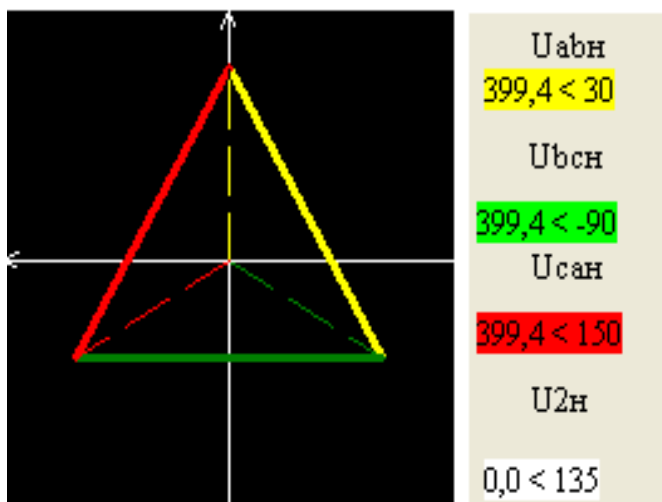


Рис. 3.2 - Зовнішній вигляд віртуального стенда лабораторної роботи

Навантаження задають за допомогою кнопки "Задати". На початку, навантаження задають симетричною лінійною активною провідністю з величиною 0,01 См. Після натискання кнопки "Задати" навантаження визначають випадковим чином. Чисельно воно відображається на стенді. Лінійні напруги навантаження, що





відповідають заданому навантаженню, чисельно й графічно також відображаються на стенді. Струми, що протікають по мережі від джерела живлення до навантаження, також відображаються чисельно й графічно на стенді. Розмірність величини струмів - Ампер. Величина  $I_2$  - відповідає струму зворотної послідовності.

Стан СП зворотної послідов-

ності регулюють за допомогою залежних перемикачів: «Відключено» і «Включено». Положення "Відключено" відповідає стану, коли СП не підключено до мережі, "Включено" - СП підключено до мережі. На початку, стан СП - "Відключено".

Параметри СП, зокрема його провідності, визначають за допомогою відповідних залежних перемикачів і регуляторів, що відображені на стенді під СП. За допомогою залежних перемикачів знаходять характер кожної лінійної провідності СП (L - індуктивний, C - ємнісний характер). За допомогою регуляторів визначають величина лінійних провідностей СП. При цьому для кожної лінійної провідності СП передбачено два регулятори. Один з них змінює провідність на рівні розмірності  $10^{-3}$  См, другий - на рівні  $10^{-6}$  См кроком відповідно 0,001 См і 0,000001 См. На початку, характер провідності СП не заданий. Їхні значення рівні 0,000001 см. Для того щоб приступити до зміни провідностей СП необхідно і достатньо вибрати їхній характер.

Провідність СУ, См

AB	<input type="radio"/> L <input type="radio"/> C	<input type="text"/>	<input type="text"/>	0,000001
BC	<input type="radio"/> L <input type="radio"/> C	<input type="text"/>	<input type="text"/>	0,000001
CA	<input type="radio"/> L <input type="radio"/> C	<input type="text"/>	<input type="text"/>	0,000001

### 3.3. Підготовка до лабораторної роботи

Підготовка до лабораторної роботи передбачає: ознайомлення з теоретичним матеріалом за темою роботи; вивчення опису віртуального лабораторного

стенда; домашню заготовку таблиць для занесення параметрів режиму роботи мережі (табл. 3.1, 3.3) і розрахункових даних (табл.3.2).

У табл. 3.1:  $|\underline{U}_{2n}|$  - модуль напруги зворотної послідовності навантаження;  $|\underline{I}_2|$  - модуль струму зворотної послідовності в мережі;  $\underline{U}_{ABn}$ ,  $\underline{U}_{BCn}$  і  $\underline{U}_{CAn}$  - лінійні напруги навантаження;  $\underline{I}_A$ ,  $\underline{I}_B$  і  $\underline{I}_C$  - фазні струми, що протікають у мережі.

У табл. 3.2:  $|\underline{U}_{1n}|$  - модуль вектора лінійної напруги навантаження прямої послідовності;  $|\underline{I}_1|$  - модуль вектора струму прямої послідовності;  $K_{U2}$  - коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю;  $K_{I2}$  - коефіцієнт несиметрії струмів за зворотною послідовністю;  $Y''_{AB}$ ,  $Y''_{BC}$  і  $Y''_{CA}$  - розрахункові значення лінійних реактивних провідностей СП;

У табл. 3.3 вказані величини аналогічні величинам табл. 3.1, але після першого циклу симетрування.

### 3.4. Порядок виконання лабораторної роботи

Допуском до виконання лабораторної роботи є домашня підготовка до її виконання.

У ході роботи необхідно виконати п'ять дослідів із симетрування трифазної трипровідної мережі. Усі п'ять дослідів повинні задовольняти наступній умові:

$$|\underline{U}_{2n}| > 0,02 \cdot U_{ном}.$$

Тобто слід робити вибір таких режимів, де несиметрія напруг за зворотною послідовністю буде перевищувати нормально-допустимі значення.

У рамках кожного дослідів необхідно:

1. Зробити вимір параметрів режиму роботи мережі при відключеному СП і занести їх у табл. 3.1.
2. Зробити розрахунок(табл. 3.2):
  - лінійної напруги прямої послідовності навантаження:

$$\underline{U}_{1n} = \frac{1}{3} \cdot (\underline{U}_{ABn} + a \cdot \underline{U}_{BCn} + a^2 \cdot \underline{U}_{CAn}),$$

- струму прямої послідовності:

$$\underline{I}_1 = \frac{1}{3} \cdot (\underline{I}_A + a \cdot \underline{I}_B + a^2 \cdot \underline{I}_C);$$

Таблиця 3.1 - Параметри режиму роботи мережі до підключення СП зворотної послідовності

№ дос- ліду	$ \underline{U}_{2H} , \text{В}$	$ \underline{I}_2 , \text{А}$	$\underline{U}_{ABH}, \text{В}$	$\underline{U}_{BCH}, \text{В}$	$\underline{U}_{CAH}, \text{В}$	$\underline{I}_A, \text{А}$	$\underline{I}_B, \text{А}$	$\underline{I}_C, \text{А}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблиця 3.2 - Розрахункові дані

№ дос- ліду	$ \underline{U}_{1H} , \text{В}$	$ \underline{I}_1 , \text{А}$	$K_{U2}, \%$	$K_{I2}, \%$	$Y_{AB}'', \text{См}$	$Y_{BC}'', \text{См}$	$Y_{CA}'', \text{См}$	$ \underline{U}_{1H}^{(1)} , \text{В}$	$ \underline{I}_1^{(1)} , \text{А}$	$K_{U2}^{(1)}, \%$	$K_{I2}^{(1)}, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Таблиця 3.3 - Параметри режиму роботи мережі після підключення СП зворотної послідовності

№ дос- ліду	$ \underline{U}_{2H}^{(1)} , \text{В}$	$ \underline{I}_2^{(1)} , \text{А}$	$\underline{U}_{ABH}^{(1)}, \text{В}$	$\underline{U}_{BCH}^{(1)}, \text{В}$	$\underline{U}_{CAH}^{(1)}, \text{В}$	$\underline{I}_A^{(1)}, \text{А}$	$\underline{I}_B^{(1)}, \text{А}$	$\underline{I}_C^{(1)}, \text{А}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

- коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю:

$$K_{U2} = \frac{U_{2H}}{U_1} \cdot 100\% ;$$

- коефіцієнта несиметрії струмів за зворотною послідовністю:

$$K_{I2} = \frac{I_{2H}}{I_1} \cdot 100\% ;$$

- лінійних реактивних провідностей СП (3.1);

3. Зробити вимір параметрів режиму роботи мережі при підключеному СП і занести їх у табл. 3.3.

### 3.5. Оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити наступне:

- 1.) Мету роботи, схему трифазної трипровідної мережі із СП;
- 2.) Результати вимірів і розрахунків; векторну діаграму напруг навантаження і струмів мережі до і після використання СП зворотної послідовності (як мінімум для одного досліду);
- 3.) Висновки по роботі

### 3.6. Питання

1. У чому полягає принцип симетрування трифазної трипровідної мережі за зворотною послідовністю за допомогою симетрируючих пристроїв?
2. Як визначають параметри симетрируючого пристрою?
3. Що таке коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю? Як його визначають?
4. Причини виникнення несиметрії напруг?
5. Які нормально і гранично-допустимі значення коефіцієнта несиметрії за зворотною послідовністю?

### 3.7. Література

1. Качество электрической энергии в системах электроснабжения: Уч. Пособие / Под ред. О.Г. Гриба. – Харьков: ХНАГХ, 2006. – 281 с.



2. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Качество электрической энергии на промышленных предприятиях. 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.

3. ГОСТ 13.109 – 97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Минск.: Изд-во стандартов. - 1998. – 30 с.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4**

### **АНАЛІЗ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ТРИФАЗНИХ ТРИПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ**

**Мета роботи:** дослідження обліку електроенергії у трифазних трипровідних мережах при різних способах підключення лічильників.

#### **4.1. Короткі теоретичні відомості**

У трифазних трипровідних мережах облік електроенергії проводять за допомогою лічильника електроенергії, підключеного двохелементною схемою [1, 2]. У цьому випадку вимірювану потужність визначають в такий спосіб:

$$\begin{aligned} P &= P_I + P_{II} = U_I I_I \cos(\varphi_{U_I I_I}) + U_{II} I_{II} \cos(\varphi_{U_{II} I_{II}}); \\ Q &= Q_I + Q_{II} = U_I I_I \sin \varphi_I + U_{II} I_{II} \sin \varphi_{II} \end{aligned} \quad (4.1)$$

де  $U_i$  ( $i = I, II$ ) – значення модулів лінійних напруг, що вимірюються відповідними елементами;  $I_i$  ( $i = I, II$ ) – значення модулів фазних струмів, що вимірюються відповідними елементами;  $\varphi_{U_i I_i}$  ( $i = I, II$ ) – кут між струмом і напругою однойменних елементів. Як правило, у практиці експлуатації, як лінійні напруги I-го елемента використовується напруга  $U_{AB}$ , як II елемента – на-

пруга  $U_{CB}$ . Як струм I-го елемента використовують струм  $I_A$ , як струм II-го елемента -  $I_C$ .

Даний метод передбачає вимір чотирьох електричних величин: двох лінійних напруг і двох фазних струмів. У випадку правильної схеми підключення лічильника, що, в загальному вигляді, показана на рис.4.1, облік електроенергії проводять коректно. При підключенні лічильника за схемою, яка відмінна від схеми рис.4.1, у більшості випадків облік електроенергії не відповідає дійсному і підлягає коригуванню. На практиці цей факт враховують шляхом перерахування показань лічильника електроенергії за виразом:

$$W_o = W \cdot K, \quad (4.2)$$

де  $W_o$  - дійсне споживання електроенергії;  $W$  - показання лічильника електроенергії;  $F$  – розрахунковий коефіцієнт, що залежить від схеми підключення.

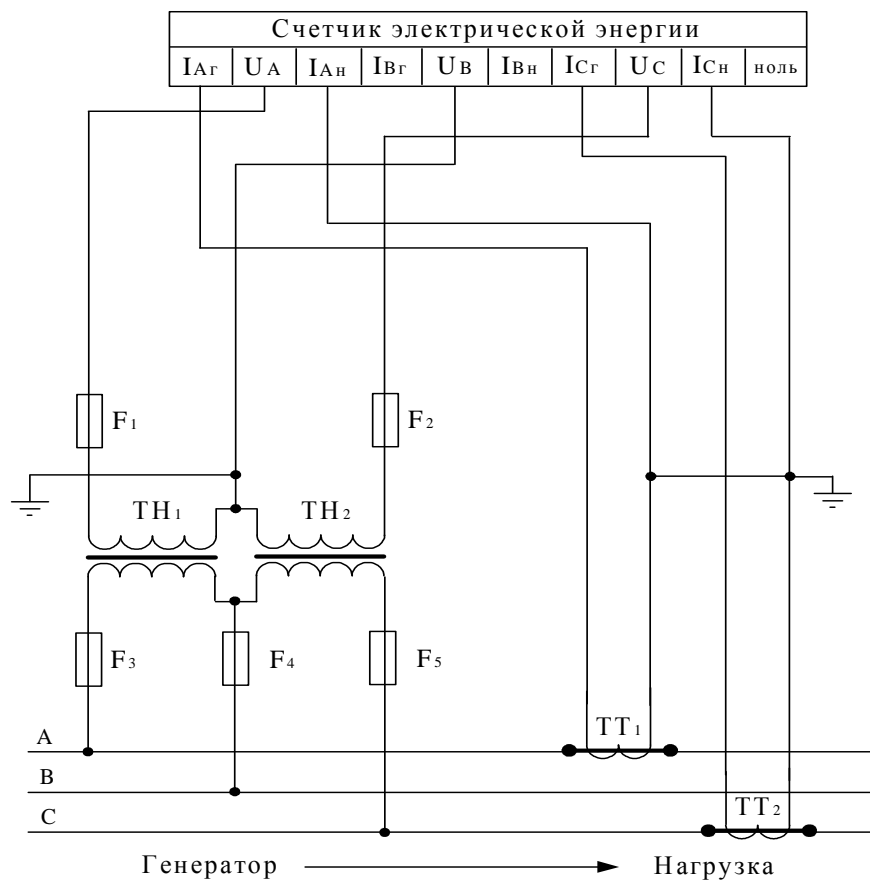


Рис. 4.1 – Схема підключення лічильника електричної енергії до трифазної трипровідної мережі

## 4.2. Опис віртуального лабораторного стенда

Виконання лабораторної роботи проводять на віртуальному лабораторному стенді, що реалізований у вигляді комп'ютерної програми. Зовнішній вигляд стенда поданий на рис. 4.2.

За допомогою стенда можна змоделювати будь-яке підключення лічильника електроенергії до трифазної трипровідної мережі, обмежене наступними допущеннями:

- обрив двох і більше вимірювальних каналів (проводів) чи напруги струму є малоймовірною подією;
- підключення однойменних потенціалів напруги і струмів до лічильника електроенергії є малоймовірними подіями.



Рис. 4.2 - Зовнішній вигляд віртуального стенда лабораторної роботи

Панель керування лабораторного стенда дозволяє виконувати такі операції:

- "з'єднати" - з'єднувати виводи вимірювальних трансформаторів входами лічильника електроенергії;

- "роз'єднати" - створювати обрив вимірювального каналу (проводу) за ланцюгами напруги і струму;
- "відновити" - ліквідувати обрив вимірювального каналу (проводу) за ланцюгами напруги і струму;
- "видалити" - видалити з'єднання за зазначеним вимірювальним каналом (проводом).

Панель **“Мережа”** дозволяє вибрати електричну мережу і відповідно встановити спосіб обліку електроенергії:

- "4-х провідна мережа" - вимір електроенергії у трифазній трипровідній мережі за допомогою триелементного лічильника;
- "3-х провідна мережа" - вимір електроенергії у трифазної трипровідної мережі за допомогою двохелементного лічильника.

Панель **“Введення даних”** дозволяє задати параметри режиму первинної мережі, зокрема фазні напруги і струми, а також її номінальну напругу.

Кнопка **«Розрахувати»** приводить до моделювання роботи лічильника електроенергії відповідно до заданої схеми підключення.

Кнопка **«Скинути параметри»** приводить до скидання всіх заданих і обраних підключень, а також припинення моделювання роботи лічильника електроенергії.

Крім вищевказаних панелей на віртуальному стенді відображають векторні діаграми струмів і напруг, що мають місце на обмотках лічильника електроенергії, значення потужностей окремо по фазах і сумарній трифазній потужності, що передається по мережі, і вимірювана лічильником електроенергії, значення розрахункових коефіцієнтів по активній, реактивній і повній потужностях.

### 4.3. Підготовка до лабораторної роботи

Підготовка до лабораторної роботи передбачає: ознайомлення з теоретичним матеріалом за темою роботи; вивченням опису віртуального лабораторного стенда; домашню заготовку таблиць для занесення результатів вимірів (табл. 4.1). В табл. 4.1  $P$  - вимірювана лічильником електроенергії активна трифазна потуж-

ність.  $Q$  - вимірювана лічильником електроенергії трифазна реактивна потужність.  $S$  - вимірювана лічильником електроенергії повна трифазна потужність.  $K_i$  ( $i = P, Q, S$ ) – відповідні розрахункові коефіцієнти для сумарної трифазної потужності.

Таблиця 4.1 - Вимірювані потужності й розрахункові коефіцієнти

Схема	$P$ , Вт	$K_P$	$Q$ , вар	$K_Q$	$S$ , ВА	$K_S$	Векторна діаграма струмів і напруг
1	2	3	4	5	6	7	8

#### 4.4. Порядок виконання лабораторної роботи

Допуском до виконання лабораторної роботи є домашня підготовка до її виконання.

У ході лабораторної роботи необхідно виконати десять дослідів, серед яких обов'язкове підключення лічильника електроенергії за схемою, поданою на рис.4.1, і дев'ять дослідів з довільними підключеннями.

У рамках кожного дослідів необхідно:

- 1.) записати в табл. 4.1 значення вимірюваних трифазних потужностей і розрахункові коефіцієнти,
- 2.) побудувати векторні діаграми струмів і напруг, що характеризують кожну схему підключення (табл. 4.1)

#### 4.5. Оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити наступне:

- мета роботи, схему підключення лічильника до трифазної трипровідної мережі;
- результати вимірів;
- векторні діаграми напруг і струмів за кожною схемою підключення;
- висновки по роботі.

#### 4.6. Питання

1. У чому полягає спосіб обліку електричної енергії в трифазній трьохпровідній мережі?
2. Відобразіть правильну схему підключення лічильника електроенергії до трифазної трипровідної мережі.
3. Дайте характеристику векторній діаграмі струмів і напруг при правильній схемі підключення лічильника електроенергії.
4. Дайте характеристику векторній діаграмі струмів і напруг однієї з неправильних схем підключення лічильника електроенергії.
1. Укажіть недоліки обліку електричної енергії при підключенні лічильника електроенергії за двохелементною схемою.

#### 4.7. Література

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. - М.: Высш. школа, 1973.
2. Труб И.И. Обслуживание индукционных счетчиков и цепей учета в электроустановках. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 АНАЛІЗ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ТРИФАЗНИХ ЧОТИРИПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ

**Мета роботи:** дослідження обліку електроенергії у трифазних чотирипровідних мережах при різних способах підключення лічильників.

#### 5.1. Короткі теоретичні відомості

У трифазних чотирипровідних мережах облік електроенергії проводять за допомогою лічильника електроенергії, підключеного за триелементною схемою [1, 2]. У цьому випадку вимірювану потужність визначають в такий спосіб:

$$\begin{aligned} P &= P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C ; \\ Q &= Q_A + Q_B + Q_C = U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C \end{aligned} \quad (5.1)$$

де  $U_i$  ( $i = A, B, C$ ) – значення модулів фазних напруг;  $I_i$  ( $i = A, B, C$ ) – значення модулів фазних струмів;  $\varphi_i$  ( $i = A, B, C$ ) – кут зсуву між струмом і напругою, обумовлений характером навантаження.

Такий підхід передбачає вимір шести електричних величин: трьох фазних напруг і трьох фазних струмів. У випадку правильної схеми підключення лічильника, що, в загальному вигляді, показана на рис.5.1, облік електроенергії проводять коректно. При підключенні лічильника за схемою, яка відмінна від схеми рис.5.1, у більшості випадків облік електроенергії не відповідає дійсному і підлягає коригуванню. На практиці даний факт враховують шляхом перерахування показань лічильника електроенергії за виразом:

$$W_o = W \cdot K, \quad (5.2)$$

де  $W_o$  – дійсне споживання електроенергії;  $W$  – показання лічильника електроенергії;  $F$  – розрахунковий коефіцієнт, що залежить від схеми підключення.

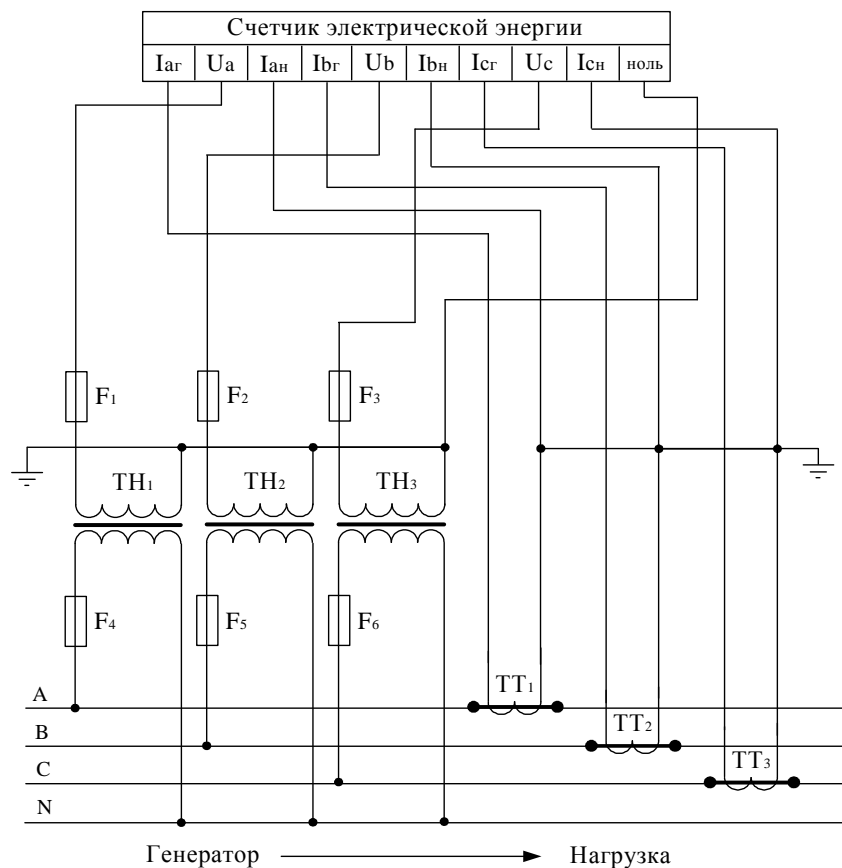


Рис. 5.1 – Схема підключення лічильника електричної енергії до трифазної чотирипровідної мережі

## 5.2. Опис віртуального лабораторного стенда

Виконання лабораторної роботи проводять на віртуальному лабораторному стенді, що реалізований у вигляді комп'ютерної програми. Зовнішній вигляд стенда поданий на рис. 5.2.

За допомогою стенда можна змоделювати будь-яке підключення лічильника електроенергії до трифазної чотирипроводної мережі, обмежене наступними допущеннями:

- обрив двох і більше вимірювальних каналів (проводів) чи напруги струму є малоймовірною подією;
- підключення однойменних потенціалів напруги і струмів до лічильника електроенергії є також малоймовірними подіями.



Рис. 5. 2 - Зовнішній вигляд віртуального стенда лабораторної роботи

Панель керування лабораторного стенда дозволяє виконувати такі операції:

- «з'єднати» - з'єднувати виводи вимірювальних трансформаторів із входами лічильника електроенергії;
- «роз'єднати» - створювати обрив вимірювального каналу (проводу) за ланцюгами напруги і струму;



- «відновити» - ліквідувати обрив вимірювального каналу (проводу) за ланцюгами напруги і струму;
- «видалити» - видалити з'єднання за вказаним вимірювальним каналом (проводом).
- Панель «**Мережа**» дозволяє вибрати електричну мережу і відповідно встановити спосіб обліку електроенергії:
- «4-х провідна мережа» - вимір електроенергії у трифазної чотирипровідної мережі за допомогою триелементного лічильника; «3-х провідна мережа» - вимір електроенергії у трифазної трипровідної мережі за допомогою двохелементного лічильника.
- Панель «**Введення даних**» дозволяє задати параметри режиму первинної мережі, зокрема фазні напруги і струми, а також її номінальну напругу.

Кнопка «**Розрахувати**» приводить до моделювання роботи лічильника електроенергії відповідно до заданої схеми підключення.

Кнопка «**Скинути параметри**» приводить до скидання всіх заданих і обраних підключень, а також припинення моделювання роботи лічильника електроенергії.

Крім вищевказаних панелей на віртуальному стенді відображають векторні діаграми струмів і напруг, що мають місце на обмотках лічильника електроенергії, значення потужностей окремо по фазах і сумарній трифазній потужності, передана по мережі, і вимірювана лічильником електроенергії, значення розрахункових коефіцієнтів по активній, реактивній і повній потужностях.

### 5.3. Підготовка до лабораторної роботи

Підготовка до лабораторної роботи передбачає: ознайомлення з теоретичним матеріалом за темою роботи; вивченням опису віртуального лабораторного стенда; домашню заготовку таблиць для занесення результатів вимірів (табл. 5.1). У табл. 5.1  $P_i$  ( $i = A, B, C$ ) – вимірювана лічильником електроенергії фазна активна потужність.  $Q_i$  ( $i = A, B, C$ ) – вимірювана лічильником

електроенергії фазна реактивна потужність.  $S_i$  ( $i = A, B, C$ ) – вимірювана лічильником електроенергії фазна повна потужність.  $P, Q$  і  $S$  – сумарні трифазні активна, реактивна і повна потужності вимірювані лічильником електроенергії.  $K_i$  ( $i = P, Q, S$ ) – відповідні розрахункові коефіцієнти для сумарної трифазної потужності.

#### **5.4. Порядок виконання лабораторної роботи**

Допуском до виконання лабораторної роботи є домашня підготовка по її виконанню.

У ході лабораторної роботи треба виконати десять дослідів, серед яких обов'язкове підключення лічильника електроенергії за схемою, поданою на рис.5.1, і дев'ять дослідів з довільними підключеннями.

У рамках кожного досвіду необхідно:

1. Записати в табл. 5.1 значення вимірюваних потужностей по кожному елементу, сумарну трифазну потужність і розрахункові коефіцієнти.
2. Побудувати векторні діаграми струмів і напруг, що характеризують кожну схему підключення (табл. 5.1).

#### **5.5. Оформлення звіту**

Звіт по лабораторній роботі повинен містити наступне:

- 1.) мету роботи, схему підключення лічильника до трифазного чотирьохпроводної мережі;
- 2.) результати вимірів;
- 3.) векторні діаграми напруг і струмів за кожною схемою підключення;
- 4.) висновки по роботі.

#### **5.6. Питання**

1. У чому полягає спосіб обліку електричної енергії у трифазній чотирипроводній мережі?
2. Відобразіть правильну схему підключення лічильника електроенергії.

3. Яким чином роблять коригування показань лічильника електроенергії при неправильній схемі підключення?
4. Для чого використовують коригувальний коефіцієнт, яким чином його визначають?
5. Дайте характеристику векторній діаграмі струмів і напруг при правильній схемі підключення лічильника електроенергії.
6. Дайте характеристику векторній діаграмі струмів і напруг однієї з неправильних схем підключення лічильника електроенергії.

### 5.7. Література

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. - М.; Высш. школа, 1973.
2. Труб И.И. Обслуживание индукционных счетчиков и цепей учета в электроустановках. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

Таблиця 5.1 - Вимірювані потужності й розрахункові коефіцієнти

Схема	$P_A$ , Вт	$P_B$ , Вт	$P_C$ , Вт	$P$ , Вт	$K_P$	$Q_A$ , вар	$Q_B$ , вар	$Q_C$ , вар	$Q$ , вар	$K_Q$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Продовження табл. 5.1

$S_A$ , ВА	$S_B$ , ВА	$S_C$ , ВА	$S$ , ВА	$K_S$	Векторна діаграма струмів і напруг
12	13	14	15	16	17

## НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “Електропостачання та електрозбереження” (для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання спеціальності 6.090603 - “Електротехнічні системи електроспоживання”)

Укладачі: Олег Герасимович Гриб,  
Дмитро Миколайович Калюжний  
Оксана Миколаївна Довгалюк,  
Валентина Григорівна Воропай,  
Григорій Гагігович Сафарян

Відповідальний за випуск О.Г. Гриб

Редактор М.З. Аляб'єв

План 2008, (додатково)

Підп. до друку.22.07.08	Формат 60 ×84 1/16	Папір офісний
Друк на ризографі.	Умовн-друк. арк. 1,8	Обл.-вид. арк.2,0
Тираж 250 прим.	Замовл. № .	

---

61002, Харків, ХНАМГ. вул. Революції, 12

---

Сектор оперативної поліграфії ІОЦ ХНАМГ  
61002, Харків, вул. Революції, 12